

*Е. А. Хабарова, А. И. Вальцева*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Alex-Liga@yandex.ru

## ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИТЭР И СБР

*В данной статье рассматриваются две перспективные технологии, которые могут произвести своего рода революцию в атомной энергетике. Однако, эти технологии пока не нашли практического применения в силу технически сложных задач, однако решение этих вопросов – удел не столь далекого будущего.*

*Ключевые слова: атомная энергетика; безопасность; термоядерный реактор; свинцовый теплоноситель.*

*E. A. Khabarova, A. I. Valtseva*

Ural Federal University, Ekaterinburg

## OVERVIEW OF PERSPECTIVE TECHNOLOGIES OF ITER AND LFR

*This article discusses two promising technologies that can produce a kind of revolution in the nuclear power industry. However, these technologies have not yet found practical application by virtue of technical challenges, but the solution of these issues is the fate of a not so distant future.*

*Keywords: nuclear power; safety; thermonuclear reactor; plumbum coolant.*

Потребление энергии человечеством растет с каждым годом, что подталкивает сферу энергетики к активному развитию. Так с возникновением атомных станций количество вырабатываемой энергии по всему миру значительно возросло, что позволило благополучно расходовать энергию на все потребности человечества, по мнению С. В. Алексеева [1], действующие атомные станции России ежегодно предотвращают выброс в атмосферу примерно 210 млн т CO<sub>2</sub>, а в целом атомные станции мира позволяют предотвратить

выброс до 3,5 млрд т углекислого газа, который принято считать основным фактором глобального потепления. Однако, для дальнейшего стабильного развития отрасли необходимы не только решения существующих проблем, но поиск и развитие новых технологий.

Атомная энергетика – единственный реальный способ остановить рост добычи и сжигания углеводородного топлива и обеспечить основную долю прироста производства электроэнергии. Будущее атомной энергетике России, по мнению Н. А. Махутова [2], зависит от решения трех задач: 1 – поддержания безопасного и эффективного функционирования действующих АЭС и их сложной технической инфраструктуры; 2 – постепенного замещения действующих АЭС энергоблоками повышенной безопасности (энергоблоки четвертого и пятого поколений) и осуществления на их основе в последующие 20–30 лет уверенного роста установленной мощности атомных энергоблоков и увеличения экспортного потенциала; 3 – разработки и овладения в промышленных масштабах ядерной энерготехнологией, отвечающей требованиям крупномасштабной энергетике по экономике, безопасности и топливному балансу.

Однако такая крупномасштабная ядерная энергетика окажется социально приемлемой только в том случае, если будет удовлетворять требованиям высокой безопасности и экономической конкурентоспособности. Существует несколько проектов ядерных энергетических установок, способных удовлетворить этим требованиям. Рассмотрим два типа перспективных реакторов и сравним их.

ИТЭР (ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor – Международный термоядерный экспериментальный реактор, основанный на удержании плазмы магнитным полем (токамак)) – проект термоядерного реактора, позволяющий продемонстрировать и исследовать термоядерные технологии для их дальнейшего использования в мирных и коммерческих целях. Создатели проекта считают, что управляемый термоядерный синтез может стать

энергетикой будущего и служить альтернативой современным газу, нефти и углю. Исследователи отмечают безопасность, экологичность и доступность технологии ИТЭР по сравнению с обычной энергетикой. По сложности проект сравним с Большим адронным коллайдером; установка реактора включает в себя более десяти миллионов конструктивных элементов [3].

Хотя рентабельность данной установки еще находится под вопросом, согласно работам многих исследователей – создание и последующее развитие технологии управляемого термоядерного синтеза может в результате дать мощный и безопасный источник энергии. Рассмотрим некоторые положительные стороны подобной установки. Основным топливом термоядерного реактора является водород, а это означает – практически неисчерпаемые запасы ядерного топлива [4].

Добыча водорода может происходить посредством переработки морской воды, которая доступна большинству стран. Из этого следует невозможность возникновения монополии топливных ресурсов.

Вероятность аварийного взрыва в процессе работы термоядерного реактора значительно меньше, чем в процессе работы ядерного реактора. Согласно оценкам исследователей [3], даже в случае аварии выбросы радиации не будут представлять опасности для населения, а значит отпадает и необходимость в эвакуации.

В отличие от ядерных реакторов, термоядерные реакторы вырабатывают радиоактивные отходы, которые имеют короткий период полураспада, то есть быстрее распадаются. Также в термоядерных реакторах отсутствуют продукты сгорания.

Для работы термоядерного реактора не требуются материалы, которые используются также для ядерного оружия. Это позволяет исключить возможность прикрытия производства ядерного оружия путем оформления материалов для нужд ядерного реактора.

Однако, существует также ряд технических недоработок, с которыми постоянно сталкиваются исследователи.

Например, нынешний вариант топлива, представленный в виде смеси дейтерия и трития, требует разработки новых технологий. Например, по окончании первой серии тестов на крупнейшем на сегодняшний день термоядерном реакторе ДЖЕТ, реактор стал настолько радиоактивным, что далее потребовалась разработка специальной роботизированной системы обслуживания для завершения эксперимента. Другим неутешительным фактором работы термоядерного реактора является его КПД – 20 %, в то время как КПД АЭС – 33...34 %, а ТЭС – 40 %.

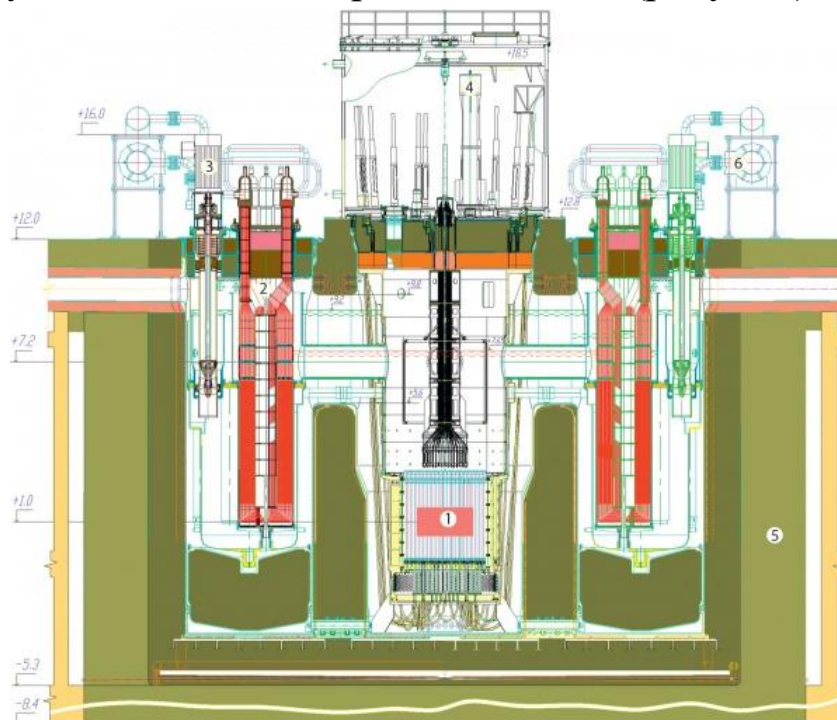
LFR (от английского lead fast reactor — свинцовый быстрый реактор) – реактор на быстрых нейтронах со свинцовым или свинцово-висмутовым жидкометаллическим теплоносителем и замкнутым ядерным циклом. Всего несколько лет назад о разработках LFR пренебрежительно отзывались как об играх ученых-ядерщиков в песочнице, не предвещающих коммерчески жизнеспособных проектов. Однако то, что вчера считалось играми ума, завтра может стать частью повседневности, хотя промышленные реакторы со свинцовым охлаждением по-прежнему дело отдаленного будущего. Нет недостатка в концептуальных проектах LFR, но подавляющее большинство их останутся на бумаге либо, возможно, послужат ориентиром для исследователей [2].

В качестве топлива для LFR приемлемым решением – по крайней мере, на краткосрочную перспективу – сочли смешанные оксиды. Но в более дальней перспективе рассматривается высокоплотное нитридное топливо, в составе которого – минорные актиниды и топливо глубокого выгорания.

Определенные параметры LFR указывают на его потенциально высокую экономическую эффективность. И эти параметры тесно связаны со спецификой жидкометаллического охладителя таких систем.

Схему реактора упрощает сама химическая природа жидкометаллического охладителя. К примеру, не нужны сложные и дорогостоящие промежуточные системы, отделяющие теплоноситель первого контура от второго (воды). Существующие конструкции

предусматривают прямоточные парогенераторы при высоком давлении. Расчеты показывают, что КПД энергоблока с подобной реакторной установки может превысить 40 % (рисунок).



Энергетическая установка LFR [4]: 1 – активная зона; 2 – парогенератор; 3 – насос; 4 – перегрузочная машина; 5 – шахта реактора; 6 – система расхолаживания

Высокая температура кипения свинца устраняет опасность локального кипения охладителя, а это делает ненужными меры безопасности, предпринимаемые для других видов охладителей. То есть система защищена характеристиками самого охладителя.

Еще один важный момент: давление первичного жидкометаллического охладителя можно поддерживать близким к атмосферному [4]. Это устраняет потребность в дорогой и порой весьма сложной системе поддержания рабочего давления, необходимой в водо-водяных реакторах. При атмосферном давлении также упрощается конструкция бассейнов теплоносителя первого контура и аварии, связанные с его потерями, становятся маловероятными.

Все это немалые плюсы и к безопасности системы, и к ее экономическим показателям. И хотя сложно оценить с приемлемой

точностью затраты на строительство LFR, их экономические преимущества уже сейчас очевидны [3].

Недостатком свинцового теплоносителя является коррозия стали из-за контакта с ним, но этот процесс можно ограничить снижением парциального давления кислорода в свинце, однако, тяжелый теплоноситель имеет существенное преимущество перед натриевым теплоносителем – он меньше замедляет нейтроны и позволяет уменьшить требуемую глубину выгорания топлива до 25 %, вместо 28 % для натриевого.

Однако, экспериментальных установок и полномасштабных свинцовых стендов нет ни в РФ, ни в мире, что усложняет проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и верификацию результатов, необходимо также отметить, что такой тип реакторов может работать только на нитридном топливе, разработка которого еще ведется.

#### Список использованных источников

1. Нитридное топливо для ядерной энергетики / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев. М. : Техносфера, 2013. 239 с.
2. Проблемы прочности и безопасности водо-водяных энергетических реакторов / Н. А. Махутов, К. В. Фролов, Ю. Г. Драгунов [и др.] / под ред. Н. А. Махутова и М. М. Гаденина. М. : Наука, 2008. 464 с.
3. Атомная энергетика XXI века / Б. А. Габараев, Ю. Б. Смирнов, Ю. С. Черепнин. М. : МЭИ, 2013. 250 с.
4. БРЕСТ : быстрый реактор со свинцовым теплоносителем и пристанционным топливным циклом [Электронный ресурс]. URL: <http://www.atomic-energy.ru/technology/36000> (дата обращения: 20.11.2018).